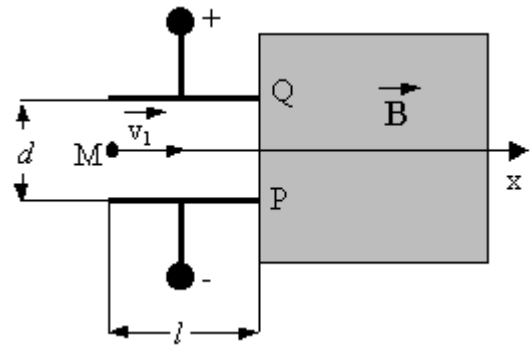


1) Ein Kondensator besteht aus zwei horizontal angeordneten, quadratischen Metallplatten der Kantenlänge $l = 34,6$ cm. Der Plattenabstand beträgt $d = 20,0$ cm. Der Punkt M liegt in der Mitte zwischen den linken Plattenrändern (siehe Abbildung).

An den Platten liegt während der gesamten Versuchsdurchführung die Gleichspannung $U_0 = 3,46$ kV mit der in der Abbildung angegebenen Polung. Das elektrische Feld im Kondensator ist scharf begrenzt und homogen. Die gesamte Apparatur befindet sich im Vakuum.



a) Protonen werden bei M in x-Richtung mit der Geschwindigkeit $v_1 = 1,00 \cdot 10^6$ ms⁻¹ eingeschossen.

- Welche Spannung U_1 ist erforderlich, um die Protonen aus der Ruhe heraus auf die Geschwindigkeit v_1 zu beschleunigen?

Während der Bewegung durch den Kondensator befinden sich die Protonen sowohl im elektrischen Feld als auch im Gravitationsfeld.

- Vergleichen Sie den Einfluss der Gravitationskraft mit dem der elektrischen Feldkraft.
- Die Protonen verlassen das elektrische Feld im Punkt P am rechten Rand der unteren Platte. Zeigen Sie, dass der Austrittswinkel gegen die Einschussrichtung $\alpha = 30^\circ$ beträgt.

Zeigen Sie, dass ihre Bahngeschwindigkeit im Punkt P beim Verlassen des elektrischen Feldes $v_p = 1,15 \cdot 10^6$ ms⁻¹ beträgt.

Unmittelbar rechts neben den beiden Kondensatorplatten befindet sich ein ausgedehntes homogenes Magnetfeld, dessen Feldlinien senkrecht zur Zeichenebene verlaufen. Das Magnetfeld bewirkt, dass die in P aus dem E-Feld austretenden Protonen im Punkt Q am rechten Rand der oberen Kondensatorplatte das E-Feld wieder erreichen (siehe Abbildung).

b) Fertigen Sie dazu eine Skizze der Anordnung im Maßstab 1:4 an. Sie soll die Punkte M, P und Q sowie die Bahntangente in P enthalten (Platzbedarf rechts vom Kondensator mindestens 5 cm).

- Skizzieren Sie die Bahn von M nach P.
- Konstruieren Sie die Bahn von P nach Q.
- Geben Sie Betrag und Richtung der magnetischen Flussdichte B an. Der Bahnradius lässt sich mit Hilfe des Sinussatzes aus der Skizze berechnen.

c) Begründen Sie, weshalb die Protonen, die bei Q wieder in das elektrische Feld eintreten, auf die untere Kondensatorplatte auftreffen. Der Auftreffpunkt sei R.

- Kann man durch Änderung der Stärke des Magnetfeldes erreichen, dass die Protonen bei ihrem Rückflug durch den Kondensator nicht auf der unteren Platte auftreffen? Begründen Sie Ihre Antwort.

3) Millikan Versuch

- Was ist das physikalisch bedeutsamste Ergebnis des Millikan-Versuchs?
- Skizzieren und beschreiben Sie das Wesentliche (inklusive der wirkenden Kräfte) des Versuchsaufbaus.
- Mit der Messwertmethode „Schweben und Fallen ohne Feld“ wurden folgende Messwerte aufgenommen:

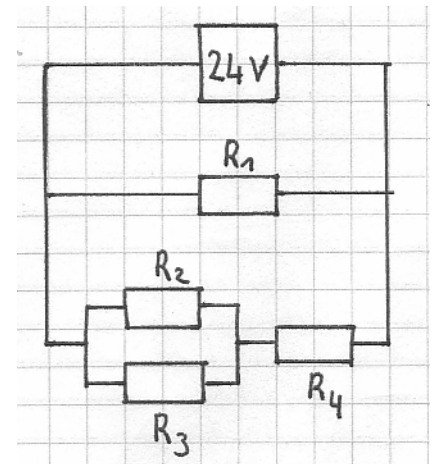
Tropfen Nr	Skalenteile	Zeit t /s	Spannung U / V	Maßstab	m / Skalenteil
1	11	13	190	Dichte (Öl)	$5,33 \cdot 10^{-5}$ 875,3 kg/m ³
2	20	12	260	Zähigkeit (Luft)	$1,828 \cdot 10^{-5}$ Ns/m ²
3	14	10	206	Abstand d	0,006 m
4	10	14	305		
5	14	9	314		
6	23	22	253		
7	11	10	192		

Bestimmen Sie die Elementarladung mit Hilfe der Auswertformel

$$Q = \frac{6\pi\eta v_0 d}{U} \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\eta v_0}{\rho g}} \text{ möglichst genau.}$$

- Leiten Sie die obige Formel her.

- 4) Aus vier Widerständen $R_1=400\Omega$, $R_2=30\Omega$, $R_3=40\Omega$ und $R_4=250\Omega$ wird die abgebildete Schaltung aufgebaut und eine Spannung von 24 V angelegt.



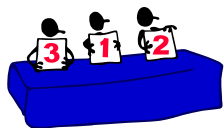
- Berechnen Sie die einzelnen Ströme, welche durch die Widerstände fließen und sowie den Gesamtstrom mit zwei Nachkommastellen Genauigkeit. Berechnen Sie außerdem die Spannungen, welche an den einzelnen Widerständen anliegen.
- Welche elektrische Leistung wird am Widerstand R_4 „verbraten“. (Konnte a) nicht gelöst werden so wird hier mit $I = 0,1$ A weitergerechnet)

5) Der Hall Effekt

- Zur Messung der magnetischen Flussdichte B wird eine Hallsonde benutzt. Erklären Sie den Halleffekt anhand einer Zeichnung.
- Bei einer Hall-Sonde wird ein Silberplättchen der Dicke $d = 0,012$ mm verwendet. Die Hall-

1

Konstante $R_H = \frac{1}{n \cdot e}$ von Silber beträgt bei Zimmertemperatur $0,90 \cdot 10^{-10}$ m³/C; dabei bezeichne n die Ladungsträgerdichte und e die Elementarladung. In einem Magnetfeld ergibt sich bei einem Sondenstrom von 10 A eine Hall-Spannung von $1,7 \cdot 10^{-5}$ V. Berechnen Sie die Flussdichte B .



Viel Erfolg

a)

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = e \cdot U_x \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_x}{m}} \quad (1)$$

Aus dem Energiesatz folgt:

b)

$$y = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t^2 \quad (2) \quad x = v_0 \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0} \quad (3) \quad y = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 \quad (4)$$

$$a_y = \frac{F_y}{m} \Rightarrow a_y = \frac{e \cdot E_y}{m} \Rightarrow a_y = \frac{e \cdot U_y}{m \cdot d} \quad (5)$$

Setzt man (5) in (4), so folgt:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e \cdot U_y}{m \cdot d} \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 \Rightarrow y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e \cdot U_y}{m \cdot d} \cdot \frac{1}{v_0^2} \cdot x^2 \quad (6)$$

unabhängig von e/m , sieht man, wenn in (6) noch die Beziehung (1) eingesetzt wird:

$$y = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot x^2$$

Die Bahnen von Teilchen mit verschiedenem e/m unterscheiden sich nicht, also ist die gegebene Anordnung zur Bestimmung der spezifischen Ladung nicht geeignet.

c) Im feldfreien Raum außerhalb des Kondensators bewegen sich die Teilchen geradlinig. Es ergibt sich eine Gleichung vom Typ:

$$y^* = m \cdot x^*$$

Die Steigung m der Geraden ist die gleiche, wie die Steigung der Parabelbahn im Kondensator am Ort $x = l$. Berechnung der Parabelsteigung am Ort $x = l$ durch differenzieren der Bahngleichung:

$$y' = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot x \quad \text{für } x = l: y' = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l$$

Somit gilt für die Geradengleichung:

$$y^* = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l \cdot x^* \quad \text{für } x^* = a: \quad y^* = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l \cdot a$$

d) Die gesamte Ablenkung y_0 setzt sich aus der Ablenkung im Kondensator y_P und der in Teilaufgabe c) berechneten Ablenkung y^* zusammen.

Berechnung von y_P aus der in Teilaufgabe b) hergeleiteten Formel für $x = l$:

$$y_P = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l^2$$

$$y_0 = y_P + y^* \Rightarrow y_0 = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{U_y}{U_x \cdot d} \cdot l \cdot a$$

$$y_0 = \frac{U_y \cdot l}{4 \cdot U_x \cdot d} \cdot (1 + 2a)$$

Bestimmung von y_0 :

Aus der Formel sieht man, dass die Gesamtablenkung proportional zur Ablenkspannung U_y ist.

a) Berechnung der Kapazität:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \Rightarrow C = \epsilon_0 \cdot \frac{r^2 \cdot \pi}{d} \Rightarrow$$
$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,12^2 \cdot \pi \text{ As} \cdot \text{m}^2}{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Vm} \cdot \text{m}} = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

Berechnung der Ladung:

$$Q = C \cdot U \Rightarrow Q = 2,7 \cdot 10^{-10} \cdot 240 \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot \text{V} = 6,4 \cdot 10^{-8} \text{ As}$$

b) Berechnung der Feldstärke:

$$E = \frac{U}{d} \Rightarrow E = \frac{240 \text{ V}}{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1,6 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Berechnung der gespeicherten elektrischen Energie:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \Rightarrow W = \frac{1}{2} \cdot 2,7 \cdot 10^{-10} \cdot 240^2 \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot \text{V}^2 = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

c) Berechnung der Kraft:

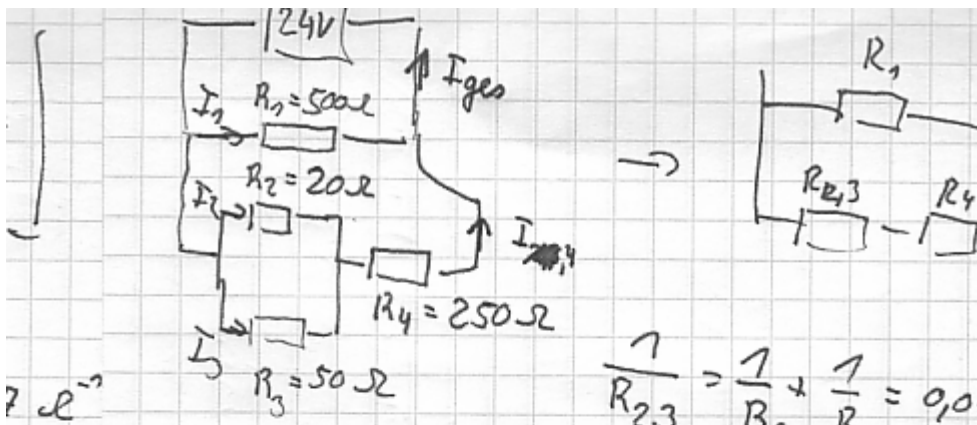
$$F = \frac{1}{2} \cdot E \cdot Q \Rightarrow F = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot 10^5 \cdot 6,4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot \text{As} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

d) Berechnung der Coulombkraft zwischen den Punktladungen:

$$F_{\text{coul}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{d^2} \Rightarrow F_{\text{coul}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{(6,4 \cdot 10^{-8})^2}{(1,5 \cdot 10^{-3})^2} \text{ N} = 16 \text{ N}$$

Die Kraft zwischen den Punktladungen ist wesentlich größer:

- Im Falle des Kondensators sind die Ladungen im Mittel weiter voneinander entfernt als die beiden Punktladungen.
- Außerdem addiert sich ein Teil der Kraftkomponenten gegenseitig zu Null.



2 e⁻⁷

$$U = R I$$

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = 0,05$$

$$R_{2,3} = 14,3 \Omega$$

$$R_{2,3,4} = R_{2,3} + R_4 = 264,3 \Omega$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3,4}} = 0,0058 \text{ nK}^{-1} = 172,9 \Omega$$

$$I_g = \frac{U_g}{R_g} = 0,138 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{U_g}{R_1} = 0,048 \text{ A}$$

$$U_g = U_{2,3} + U_4$$

$$I_4 = \frac{U_g}{R_{2,3,4}} = 0,09 \text{ A}$$

$$U_4 = R_4 I_4 = 22,5 \text{ V}$$

$$U_{2,3} = R_{2,3} I_4 = 7,29 \text{ V}$$